镁合金零部件在汽车中的应用研究

杨鸿智，尹小文，苏彦芳，朱迎五，高鹏

北京汽车研究总院有限公司，北京101300；
北京屹唐半导体科技股份有限公司，北京100176

摘要：镁合金是汽车金属材料零部件中最轻的材料，在汽车轻量化的背景下得到了高度重视。本文分析了镁合金的特点和常见的汽车用镁合金零部件和牌号，重点介绍了方向盘骨架、仪表板横梁、座椅骨架和镁合金轮毂4个典型镁合金零部件，探讨了目前镁合金在汽车工业中存在的问题。

关键词：镁合金；轻量化；零部件；应用

镁(Mg)是汽车用金属中最轻的一种，属密排六方结构，熔点648℃，密度为1.74g/cm3，是铝密度的64.4%，钢密度的22.2%，具有减振降噪性能好、比强度和比刚度高、易于回收和铸造性能优良等特点，是汽车轻量化的理想材料，被誉为“21世纪的绿色工程材料”。本文针对镁合金的特点及汽车中的典型零部件应用做介绍，为国内汽车设计人员提供应用推荐。

镁合金的特点

（1）镁合金最大的特点就是轻，使用镁合金替代钢和铝零部件能减轻质量，降低能源消耗，提升汽车续驶里程。

（2）镁合金的比刚度约为2(GPa1/3/Mg·m-3)，高于铝(约1.5)和钢(约0.8)；镁合金的比强度约130(MPa/Mg·m-3)，同样高于铝(约110)和钢(约40)。

（3）镁合金具有优良的阻尼系数，阻尼能力比钢和铝好，有比较高的振动吸收性，用于座椅骨架能够提高舒适性。

（4）镁合金具有优异的切削加工性能，镁合金、铝合金的软钢的切削动力指数分别是1.0、1.8和6.3，使用镁合金可以提高生产效率，缩短生产周期。

（5）镁合金的耐腐蚀性较差，和铝合金相比，镁有极高的化学活性和较低的电极电位（-2.363V，比铝、钛、铁、锌都低），当与不同类金属接触时易发生应力腐蚀和微电腐蚀。

（6）镁合金的环保较好，其都可以回收利用。镁合金的熔化潜热比铝合金低（368kJ/kg比397kJ/kg），消耗的能量少，回收成本低，在双碳背景下能够节约资源[1-3]。

常见的汽车用镁合金

在汽车产业中，Mg-Mn系和纯Mg-Zn系用的不多，而Mg-Al系是应用最广泛的镁合金系列。Mg-Al合金主要元素Mg和Al，同时也包含其他元素，例如Si、Mn、

Zn和稀土等，能够进一步提高室温力学性能和高温性能[4]。

常用的Mg-Al合金主要包括4个系列：

AM(Mg-Al-Mn)系：具有优良的韧性和塑性，适合制造受冲击的零件，如汽车仪表板横梁。

AZ(Mg-Al-Zn-Mn)系：具有均衡的力学性能和铸造性能，屈服强度高并具有一定的耐盐雾腐蚀能力，适合制造形状复杂的薄壁压铸零件，如汽车轮毂。

AE(Mg-Al-RE)系：具有比AS系列镁合金更好的抗蠕变性（在高温120℃-175℃力学性能上已接近铸造铝合金的水平），但是其压铸工艺性和抗氧化性能差，抗疲劳性能低。

AS(Mg-Al-Si)系：具有较好的抗蠕变性能，强度高，塑性、韧性好，在汽车的曲轴箱、电机支架上有所应用[5]。

汽车使用的镁合金绝大多数是AZ和AM系，据统计占总量的80%-90%，主要分为壳体和支架两大类。壳体类比如变速器壳体、新能源汽车的电机壳体、离合器壳体、轮毂等；支架类如仪表盘横梁(CCB)、方向盘骨架、座椅支架、转向支架等。材料选用方面，AZ系和AS系一般用于结构件，而装饰件多用AM系。汽车镁合金压铸件的常用材料是AM50A、AM60B和AZ91D，其化学成分和力学性能(ASTM B94-2018标准)见表1和表2所示，表3为典型汽车镁合金零部件所使用的牌号。

表1 典型牌号的化学成分(质量分数)/%

牌号	Al	Mn	Zn	Cu	Fe	Si	Ni	其他金属杂质	Mg
AM50A	4.4-5.5	0.26-0.6	≤0.22	≤0.01	≤0.004	≤0.10	≤0.002	≤0.02	余量
AM60B	5.5-6.5	0.24-0.6	≤0.22	≤0.01	≤0.005	≤0.10	≤0.002	≤0.02	余量
AZ91D	8.3-9.7	0.15-0.5	0.35-1.0	≤0.03	≤0.005	≤0.10	≤0.002	≤0.02	余量

表2 典型牌号的力学性能

牌号	抗拉强度MPa	屈服强度MPa	延伸率(标距50mm)%	布氏硬度HB
AM50A	≥200	≥110	≥10	≥58
AM60B	≥220	≥130	≥8	≥62
AZ91D	≥230	≥160	≥3	≥63

表3 典型汽车镁合金零部件牌号

镁合金系列	牌号	典型零部件
AZ (Mg-Al-Zn-Mn)	AZ91D	变速器壳体、离合器壳体、气缸体、轮盖、副车架、轮毂
	AZ80	轮毂
	AZ61	行李架骨架
	AZ31	压缩机壳体
AM(Mg-Al-Mn)	AM50/AM50A	前端框架、仪表板横梁、座椅骨架、方向盘骨架、门框
	AM60B	前端框架、仪表板横梁、座椅框架、散热器支架
AS(Mg-Al-Si)	AS41A	离合器活塞、气冷汽车活塞
	AS41B	曲轴箱壳体、变速器壳体
AE(Mg-Al-RE)	AE44	发动机支架、变速箱

典型镁合金汽车零部件

1.方向盘骨架

方向盘骨架目前是乘用车用镁合金普及率最高的零部件（超过80%），材料一般选用AM50A，如图1所示。镁合金应用于方向盘既能实现轻量化（与钢质设计相比，减重40%以上），又能把路面和控制系统传递

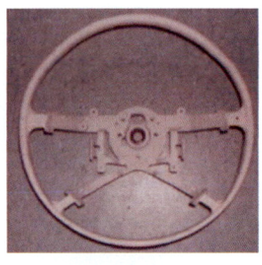


图1 镁合金方向盘骨架

的振动吸收一部分，如果发生意外时，镁合金骨架比钢制骨架能吸收更多的能量，更好保护驾驶员。

2.仪表板横梁（CCB）

镁合金仪表板横梁和钢制的相比，具有轻量化、零件集成化程度高、安装尺寸精度高、设计灵活和绿色环保的优点。常用的牌号是AM60B，其铝含量较低，韧性和塑形较好。AM60B是高纯牌号，具有优良的耐腐蚀性能。1968年镁合金仪表板横梁应用在奥迪车型上，1995年应用在通用汽车的新年度车型上，第一代的质量大约为7-8kg，壁厚大约为3.5-4mm，第二代的壁厚和质量进一步减少，但仍保持着较高的防撞性及减振、降噪、刚度的要求[6]。北汽新能源的EX3车型和LITE车型都使用了镁合金仪表板横梁，达到了轻量化的效果。如图2所示，EX3的仪表板横梁总成质量5.77Kg，减重约40%。

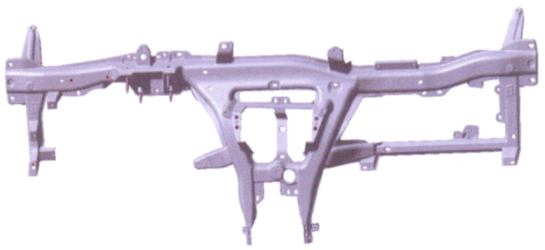


图2　EX3车型镁合金仪表板横梁

3.座椅骨架

奔驰公司的SEL型敞篷车首先使用镁合金座椅骨架，福特汽车公司使用镁合金座椅骨架替代钢制骨架减重3kg，丰田公司某款车型采用镁合金座椅骨架使座椅质量减轻40%[7]，现代汽车公司某款车型把30多个零部件的钢制座椅骨架变成了2个镁合金零部件组成座椅骨架减重50%[8]，因为使用镁合金座椅骨架具有很大的轻量化效果。图3是博奥镁铝金属制造有限公司展示的镁合金座椅骨架。



图3　镁合金座椅骨架

4.镁合金轮毂

在节能减排的趋势影响下，镁合金轮毂迎合了汽车轻量化和环保的需求，其在高端车型上的应用已成趋势，如图4所示。铸造法和锻造法是两种主要的镁合金轮毂成形方法。铸造法生产的轮毂的力学性能较差，因为容易产生疏松、缩孔等缺陷。锻造法生产的轮毂在成形过程中能够焊合金属熔炼中产生的缩孔和疏松等缺陷，保持金属流线，提升轮毂的力学性能。常用的牌号是AZ80镁合金，其属于Mg-A1系镁合金，该牌号塑性较高、可锻性好及应力腐蚀倾向小，很适合于锻造镁合金车轮[9]。



图4　锻造镁合金车轮

镁合金在汽车工业应用中存在的问题

耐热性问题：耐热性能差是大多数镁合金的缺点，其综合机械性能在室温下表现良好，但在温度较高时就会显著降低。

防腐问题：与铝合金相比，镁合金的耐蚀性较差，镁有极高的化学活性和较低的电极电位，当与不同类金属配合时易发生应力腐蚀和微电腐蚀，所以镁合金零部件一般用于环境比较好的位置。

生产成本高：生产原镁的能耗大，生产成本高，镁合金的模具成本也比较高，导致单位质量的镁合金要比铝合金高。

安全隐患大：镁的化学性质非常活跃，粉末状的镁在空气中很容易燃烧，发出耀眼的白光。镁合金零部件在机加工过程中会产生大量的碎屑和粉尘，存在安全隐患。

结语

镁合金作为汽车上用到的最轻的金属材料，具有密度低、减振降噪性能好、比强度和比刚度高和铸造

性能好等优点，有着广阔的应用前景。我国是世界上镁资源最为丰富的国家，总储量占世界的22.5%。但是在镁合金汽车零部件的研究起步较晚，与美国、德国、日本等汽车强国存在差距。我国的汽车企业要深入研究镁合金的潜在价值，解决镁合金零部件的耐热性、防腐性等问题，紧跟全球发展趋势，增加在汽车上的用量，尤其是满足目前新能源车的续航焦虑对轻量化的迫切需求。

参考文献

[1] 贺岩松，杨诚. 镁合金在轻量化汽车中的应用[J],汽车工艺与材料，2002(6):25-27

[2] 李明慧. 镁合金材料在轿车轻量化中的应用[J]. 广东交通职业技术学院学报，2002(1):44-47

[3] 刘正，张奎，曾小勤. 镁基轻质合金理论基础及其应用[M]，北京：机械工业出版社，2002

[4] 曾小勤. 镁合金在新能源汽车中的应用[J]，第九届中国铸造协会年会论文集[C]//镁合金在新能源汽车中的应用，2010:221-230

[5] 郭洪河，刘生发，黄尚宇等. 镁合金在汽车中的应用与发展[J]，汽车工艺与材料，2003(10):34-36

[6] 赵琛，陈云霞，李中兵. 轻量化材料镁合金在汽车上的应用[J]，汽车工艺与材料，2011(7):54-57

[7] 韩洁丽. 镁合金汽车座椅骨架压铸成形数值模拟与工艺优化［D］. 重庆:重庆大学，2008.

[8] Jin Ko Young,Joong Kim Jae, Chan Park Soon, et al.Module Design Concept for Lightweight Automotive Seats [C] //Magnesium:Proceedings of the 6th International Conference Magnesium,2004:924-929.

[9] 胡美些，狄石磊，坯料预热方式对AZ80镁合金轮毂组织和性能的影响[J]，锻压技术,2022,47(09):39-44

[10]陈军. 镁合金在汽车工业中的应用分析[J]，材料研究与应用，2010，04(02):81-84

